

# 磁激发极化法

励宝恒 王式铭

中国分类号: P631.32

七十年代初期,加拿大先得利公司宣布磁激发极化法研究成功,之后在加拿大、澳大利亚以及非洲一些特殊地质条件下的硫化矿床上进行试验性生产,获得了较好的地质效果。目前我国和苏联在作此项研究工作。为使这一新的“磁激发极化法”为大家所了解,本文综合了加拿大先得利公司所发表的专利及资料,对该方法的基本原理及地质效果作简要介绍。

磁激发极化法是通过测量地下电流所产生的磁场,来获得有关地下激发极化特性的资料。在时间域中,测量断电后由极化电流(二次电流)引起的瞬时磁场强度。在频率域中,测量磁场强度随频率的变化,或是测量单一频率下的交变磁场各谐波分量的相对相位移。

磁激发极化法与电激发极化法都是获得有关地下激发极化特性的资料,但两者的区别:在测量电场方法中,是测量极化体外部极化电流被周围介质所歪曲的电位;测量磁场方法是探测地下矿体内部和外部极化电流磁场的总和。

依据毕奥—沙伐尔定律,地下电流磁场可表示为一次电流磁场:

$$H_1 = \frac{1}{4\pi} \iiint_V \left( \vec{j}_1 \times \frac{\vec{r}}{r^3} \right) dv \quad (1)$$

二次电流磁场:

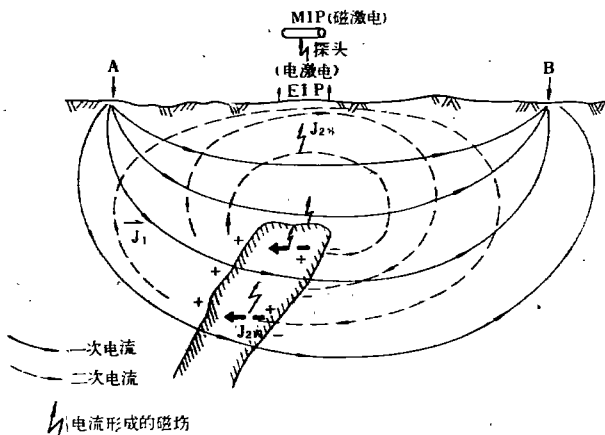


图1 电激发极化法和磁激发极化法

$$H_2 = \frac{1}{4\pi} \iiint_V \left( \vec{j}_2 \times \frac{\vec{r}}{r^3} \right) dv \quad (2)$$

其中  $\vec{j}_1$ ——为地一次电流矢量;

$\vec{j}_2$ ——为地下二次电流矢量;

$r$ ——为地下某处的电流至地表观测点距离。

由图1可以定性分析到,在某些区域,内部二次电流和外部二次电流产生的磁场方向相反;而在另外某些区域,内部二次电流和外部二次电流产生的磁场方向相同。

下面以简单的情况来分析地下电流磁场的总效应。

## (一) 正常磁场

图2表示在水平分层介质上单一供电电极为C,供入地下电流为I,依据轴对称,应用安培定律,可推得地表观测点P的磁场强度;

$$H_1 = \frac{I}{10R} \quad (3)$$

如果P点在C点上方,两者距离为Z,其磁场强度为:

$$H_r = \frac{I(1 - \cos \theta)}{10R} \quad (4)$$

式中  $H_1$ ——磁场强度(奥斯特);

$I$ ——供电电流(安培);

$R$ ——供电电极至观测点的距离(厘米)。

若供电电极C位于水平分层介质中C'处,在地表P点所产生的磁场是

$$H_1 = \frac{I(1 - \cos \theta)}{10R'}$$

如果采用两个供电电极,观测点在两个电极的中

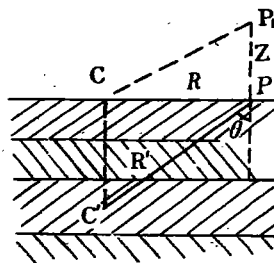


图2 水平层介质单一电流源形成正常磁场

间点上,则产生的水平磁场为

$$H_1 = \frac{I}{5R} \quad (5)$$

## (二) 极化球体的磁场

设一半径为  $a$ 、电导率为  $\sigma_2$ 、充电率为  $m_2$  的球，置于电导率为  $\sigma_1$ 、充电率为  $m_1$  的均匀介质中（图 3），且介质中存在均匀的（水平）电流密度  $j_0$ ，这时将在球体内部产生均匀的水平电流

$$j_1 = \frac{3\sigma_2 j_0}{(\sigma_2 + 2\sigma_1)} \quad (6)$$

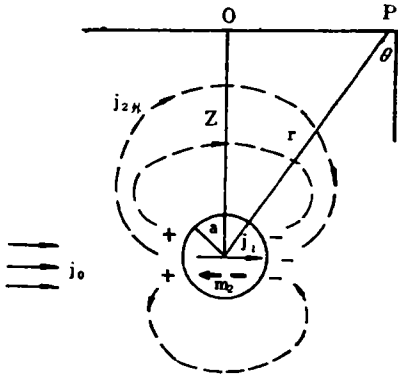


图 3 球极化体的磁场

对于高导体球体  $j_1 \approx 3j_0$ 。

当球体极化后，极化电流产生的磁场可由两部分组成：一为球体内部水平电流（可看作线电流）；另一为外部电流（即在地下深处  $Z$  有一个正、负电源，做为一个偶极子磁场）。

内部电流引起的磁场：

$$H_{2内} = -2\pi a^3 m_2 j_1 \times \frac{\vec{r}}{15r^3} \quad (7)$$

外部电流（偶极子）磁场：

$$H_{2外} = 2\pi a^3 m_2 j_1 \frac{[\cos\theta - \csc^2\theta(1 - \cos\theta)]}{15r^2} \quad (8)$$

最终二次极化电流磁场：

$$H_2 = H_{2外} + H_{2内} = -2\pi a^3 m_2 j_0 \csc^2\theta \frac{(1 - \cos\theta)}{15r^2} \quad (9)$$

依据 (7)、(8)、(9) 公式作下述讨论：

(1) 在球体的正上方：

$$H_{2内} = -2\pi a^3 m_2 \frac{j_1}{15Z^3}$$

$$H_{2外} = \pi a^3 m_2 \frac{j_1}{15Z^2}$$

由此看出，球体正上方  $H_{2内}$  与  $H_{2外}$  方向相反，外

部电流磁场仅为内部电流磁场的 50%，矿体正上方反映主要是矿体内部极化电流的磁场。

(2) 在磁激发极化法中，球的二次极化电流磁场与  $r^2$  成反比；在电激发极化法中，球的二次极化电位是与  $r^3$  成反比，随  $r$  增加二次极化电位衰减速度比磁场增加一个级次。其它形状的矿体也同样有这样的关系。

## (三) 扁长导电体

磁激发极化法对扁长导电体的极化体会有更好的效果，因为扁长导体能集中大量沿长轴流动的电流。这种情况有两个意义：一则是集中一次电流，加强极化效应；二则是可以有较大的长轴二次电流。前者、在电法书中已有讨论，后者可用简化成一个线电流近似表示（图 4）。图上端点带有两个正、负的点电源，线电流代表内部极化电流，点电源代表外部极化电流源。

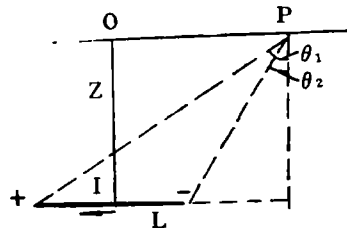


图 4

内部极化电流的磁场为

$$H_{内} = \frac{I(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)}{4\pi Z}$$

外部极化电流的磁场为

$$H_{外} = \frac{\left[ \frac{(1 - \cos\theta_1)}{\tan\theta_1} - \frac{(1 - \cos\theta_2)}{\tan\theta_2} \right] I}{4\pi Z}$$

磁激发极化法可以利用观测到的一次、二次磁场得到以下不同的参数。其中以归一化的二次磁场反映极化异常最明显：

$$1) \text{ 磁充电率 } M = \frac{H_2}{H_1}$$

$H_2$ ——断电后二次电流产生的磁场；

$H_1$ ——一次电流的磁场。

因此，当二次磁场与一次磁场同向时（在矿体两侧）， $M$  为正值，当它们方向相反时（在矿体上方） $M$  为负值。为了方便，绘图时  $M$  向上为负值。

2) 与  $M$  相似性质的参数是归一化的二次磁场  $H_{2N}$ ，其定义

$$H_{2N} = \frac{H_2}{I_P} \quad (I_P \text{ 为一次电流})$$

3) 归一化的一次磁场, 可以表征地下电阻率, 其定义为

$$H_{1N} = \frac{H_1}{H_t} \quad (H_t \text{ 是介质均匀时该点的理论磁场值})$$

值)

4) 衰减率  $\Delta M$ , 其定义为

$$\Delta M = |M_B| - |M_A|$$

$|M_A|$ ——一次电流断开后、某个时间内测出的充电率值;

$|M_B|$ ——更向后某个时间的充电率值;

$\Delta M$ ——二次磁场衰减速率。

磁激发极化法异常类型比较多, 这是由于磁激发极化法异常既反映介质中返回极化电流的空间分布, 又反映极化体内部极化电流, 同时还受到极化体与介质电阻率差异的影响。为了便于野外观测结果分类和解释, 可把磁激发极化法异常归纳为五种类型, 这些曲线特征在室内模型实验及野外生产中均被观测到。

**A类型:** 此类型异常是由于极化体比周围介质具有更高的电阻, 在极化体上方可以看到负的充电率“头部”异常和正的充电率“肩部”异常, 而且在极化体上方可以观测到  $H_{1N}$  的低值 (如图5)。这种类型异常在浸染状黄铜、黄铁矿的石英脉中被观测到。图中“×”号表示二次电流方向是由图向着图里,

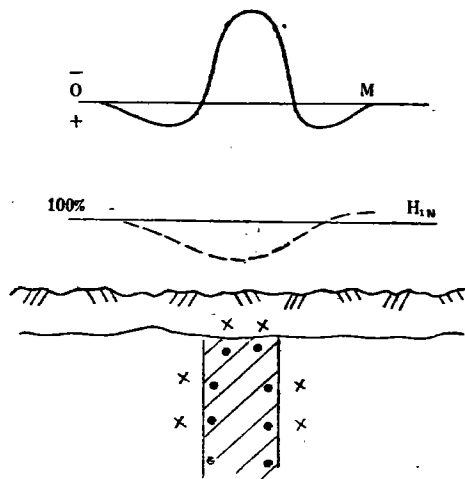


图 5

“·”号表示由图里离开图面。供电电流方向为“×”的方向。

**B类型:** 此类型异常是极化体与周围介质不存在电性差异。这种异常可见于浸染硫化矿赋存于均匀岩

石中。异常特征见图6。

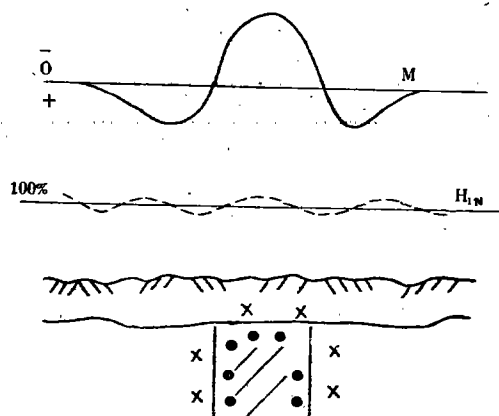


图 6

**C类型:** 此类型异常的极化体是良导体, 与周围介质有明显电性差异, 在矿体上方同时见到充电率“头和扇部”异常和  $H_{1N}$  高值 (图7)。

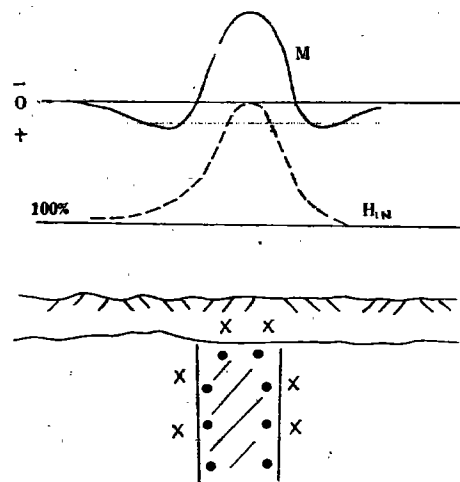


图 7

**D类型:** 这是一种值得注意的类型。产生这种类型异常是致密极化体周围被浸染晕 (可极化的) 所包围。致密矿体是良导体, 而浸染晕要比致密矿体产生更强的极化效应。由浸染晕极化效应形成的返回电流通过致密矿体放电, 因此在致密矿体上得到正的充电率“头部”异常和负的充电率“肩部”异常, 以及高的  $H_{1N}$  值 (图8)。这种类型异常在西澳大利亚威德格姆区被观测到。

**E类型:** 这种类型异常是极化体赋存在两种不同电阻率岩石的接触带上, 因此介质中返回电流集中到低电阻率岩石一侧, 造成异常曲线不对称 (图9)。

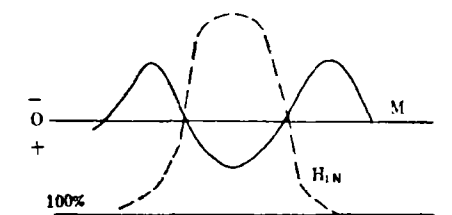


图 8

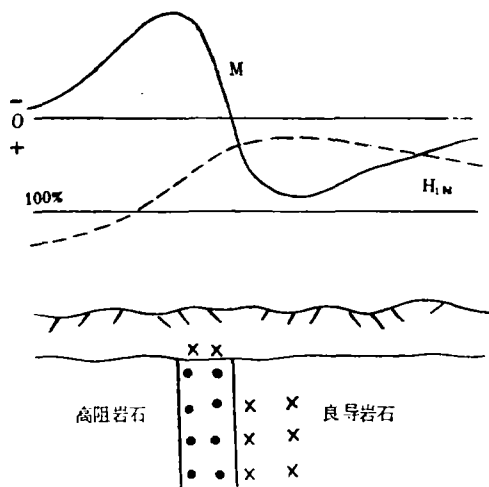


图 9

充电率衰减形状是随极化体的矿物组成和结构构造而变化，此点已在实验室中被观测到。在野外由于二次电流经过极化体外围介质，介质不仅改变信号振幅，同时也改变它的信号的衰减形状，而磁场观测受外部介质影响较小，更多的反映内部电流的特征。因此磁充电衰减率  $\Delta M$  有可能视为来源于极化体的衰减形状的性质。

野外工作是将两个供电电极  $C_1$  和  $C_2$  布置在平行于所推测的矿体的走向上，使大部分电流集中于矿体中，供电线敷设成半矩形，最佳极距为  $2A$  ( $A$  是所得寻找矿体的最小长度)，测线垂直于矿体走向，观测的磁场是沿测线方向 (垂直供电电流方向) 的水平磁场。接收机是使用先得利公司高灵敏度磁通门磁力仪 (MFM-3) 作为磁电转换器，接在电激发极化接收机 (IPR-8、IPRF-2 等) 上。磁电转换器也可使用感应线圈或其它原理的高灵敏磁力仪。

因为测量的是微弱磁场，因此磁暴是主要噪声来源，它将降低工作效率，甚至使工作不能进行。

#### (四) 模型试验和野外实例

下面我们列举一个模型试验结果和两个野外工作实例。

##### A. 模型试验

模型是一个长 4.3 米，宽 0.31 米的铝板，埋在粘土土壤中。模型水平放置，埋深距地表 0.31 米。一个供电电极布置在距模型一端的 2.7 米处，另一个供电电极距其约 30.5 米远。电流通断各为 2 秒，从 0.45 秒到 1.1 秒积分瞬变曲线下的面积。

实试结果如图 10。图中 a) 为横向剖面，产生的充电量在模型上是负极性 (峰值为 130 毫秒)，在其两翼下降为小的正极性 (峰值为 20 毫秒)。图 b) 为纵向

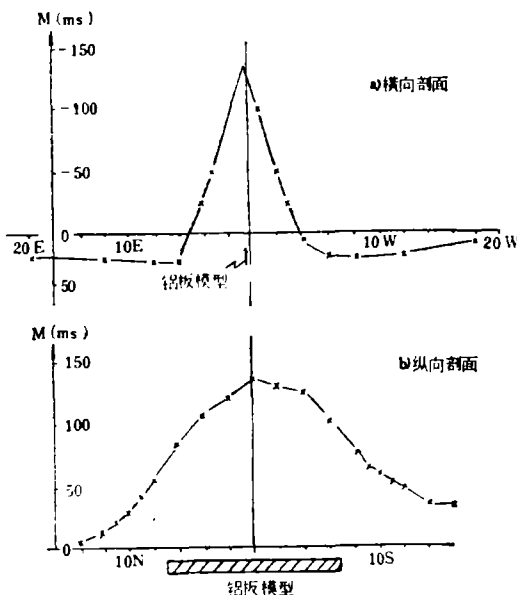


图 10 磁激发极化模型实验

(注：下图之纵座标为负值)

剖面，产生的充电量皆是单向的负值。

##### B. 野外实例

###### 1. 澳大利亚西部肖尔若克湾硫化镍矿

矿体平均含镍 0.5%，黄铜矿 0.6%，磁铁矿 5%，黄铁矿 4%。

钻探打到了两个相邻的矿化层，长约 1500 米，平均厚度超过 15 米，垂直矿化深度最大 900 米。矿

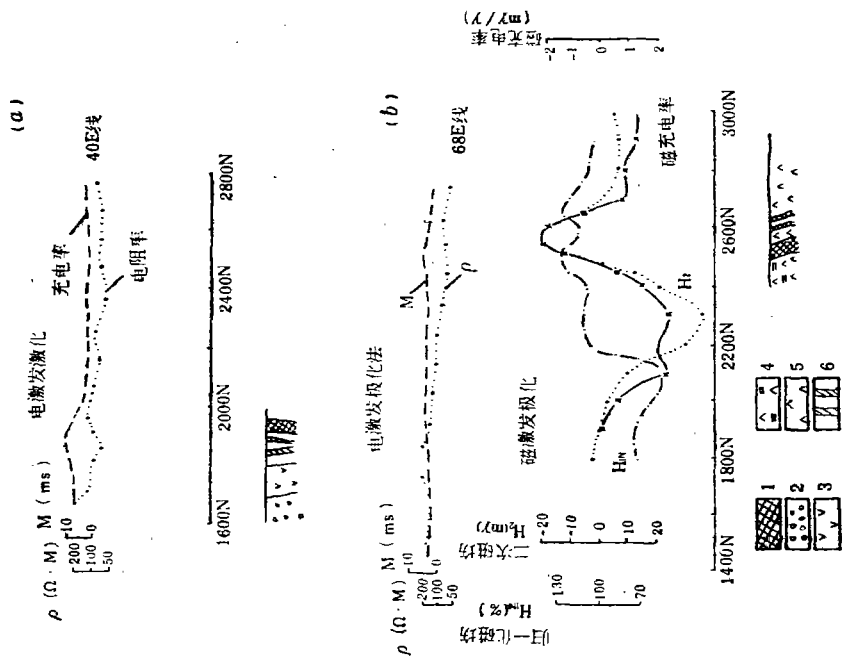


图 11 尚尔若克湾磁激发极化法试验

1—磁铜硫化矿, 2—杂砂岩、粉砂岩、石英岩;  
3—流纹岩流, 4—安山凝灰岩, 5—流纹凝灰岩;  
岩, 6—矿脉

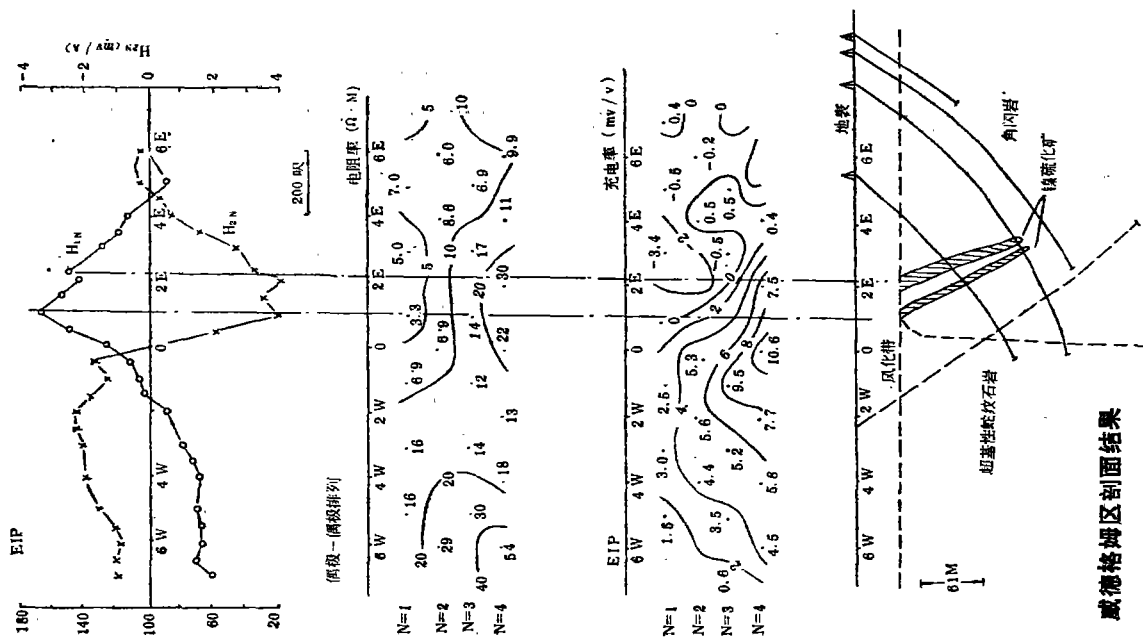


图 12 威德格姆区剖面结果

体周围蛇纹石化,赋存于火山和镁铁侵入岩中。

测量地区部分地段是潮泥平地,表层下的基岩较新鲜,其它地段地形也是平坦的,地表为厚度不均匀(平均12米)的冲积砂砾,氧化深度约30米。地质剖面是根据钻孔在地下90米和600米所见情况绘制的。

1971年,在这个地区做了电激发极化法。

在40E线(图11-a)矿体上,充电率显示了很弱的异常,在68E线(图11-b)矿体上充电率异常没有显示。解释为:40E线向东到68E线由于覆盖层电阻率再度降低,电屏蔽增强,电激发极化异常由弱到消失。

随后,在68E线上做了时间域磁激发极化法,其结果如图11-b。

在该线已知矿体上(26N点附近)有一个清晰的充电率异常反映。

这个例子表明:磁激发极化法能消除导电表层的电屏蔽影响问题。

## 2. 西澳大利亚威格姆区

此地区已被钻探验证。致密硫化镍矿赋存于前寒武系蛇纹石化超基性岩和角闪岩的接触带中,矿体上

面被铁帽覆盖,矿体组合厚度为12.2米,风化带电阻率为3—10欧姆·米。磁激发极化法在本区应用是为了减弱良导层的屏蔽作用。使用供电电极距366米,一组电极位于2E北部244米,另一组在2E南122米。

图12展示了电激发极化法和磁激发极化法的工作结果: $H_N$ 剖面明显的指示了硫化矿体为良导性,并有两个峰值在1E和2.25E处。 $H_{2N}$ 异常为正值,有两个明显的峰值,表示了两个矿体已为返回电流的通道,属于“D”类型的异常。

如果按电激发极化结果的解释,在2V打钻将会漏掉了矿体。但磁激发极化法在这种情况下有较好的分辨能力。

磁激发极化法是新近发展起来的方法,在理论、仪器、方法上都还有待发展。由于特殊地质条件,此方法在澳大利亚得到了广泛应用,在此基础上发展成为“快速磁激发极化法”。但是,此方法观测的是微弱磁场,这样给野外工作带来一些困难,因此它的应用不是取代电激发极化法而是弥补电激发极化法一些不足之处。

欢迎订阅 扩大发行 内容充实 形式新颖

## 《地质与勘探》杂志征求订户

一九八〇年起改为月刊

《地质与勘探》杂志,是一个主要供冶金地质系统广大干部、科学技术人员、工人以及地质院校师生阅读的综合性地质技术刊物。侧重报道金属矿产资源的成矿理论、成矿规律及其预测、找矿与勘探方法、资源综合利用、岩矿鉴定、物探、化探、钻探等方面的研究成果与经验,介绍国内外的新技术、新方法、新仪器、新设备。

《地质与勘探》杂志,从一九八〇年起改为月刊,继续交桂林邮电局发行(限国内发行),全国各地邮局收订。每册定价0.30元,一季0.90元,半年1.80元,全年3.60元。

各地邮局一般在今年第四季度开始接受明年期刊订户。由于各地交通条件不同,各邮局收订截止日期可能略有差异,请各订户及时与当地邮局联系,以免脱订。

订阅办法:集体订户持单位介绍信,个人订户凭工作证直接到当地邮局办理。刊物邮政代号:48—21。